



土力学实务

Tulixue Shiwu

主 编 张 艳 武 强
主 审 杨 谦

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

土力学实务

主 编 张 艳 武 强
参 编 郭 欢 黄艳妮 张 喆
主 审 杨 谦

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书以国家最新颁布的规范、规程为依据进行编写。全书共分为13个试验项目, 主要内容包括试样制备, 含水率试验, 密度试验, 测定黏性土的界限含水率试验, 比重试验, 颗粒分析试验, 击实试验, 压缩(固结)试验, 直接剪切试验, 三轴剪切试验, 承载比(CBR)试验, 承载板测定土基回弹量试验, 挖坑灌砂法测定压实度试验。本书内容精炼、注重实践, 突出应用。

本书可作为高等院校土木工程类相关专业的教材, 也可作为现场工程技术人员、施工管理人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

土力学实务 / 张艳, 武强主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.8
ISBN 978-7-5682-2824-4

I. ①土… II. ①张… ②武… III. ①土力学 IV. ①TU43

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第191484号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 5

字 数 / 144千字

版 次 / 2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷

定 价 / 25.00元

责任编辑 / 孟雯雯

文案编辑 / 瞿义勇

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

土力学试验是土木工程专业的一门基础技术课程。其任务是通过介绍土力学基础试验的基本测试技术和试验方法,使建筑工程技术、建筑工程管理、建筑工程造价、道路与桥梁工程技术、城市轨道交通等专业学生更快地适应建筑业发展的新形势,能快速、准确地检测土的基本物理性质,具备解决一般土工问题的能力,是土木工程专业高级技术人才所必需的业务素质之一。

本书主要介绍了常用的土工试验的原理、试验仪器设备、试验方法及步骤。本教材既注重学科基础理论和知识的运用,又注重将学科的新概念、新方法引入试验,力求将知识的传授与实际应用能力的培养结合起来。

本书由张艳、武强担任主编,郭欢、黄艳妮、张喆参与了本书编写工作。具体编写分工为:试验一、试验二由武强编写;试验三、试验七、试验八、试验九、试验十由张艳编写;试验四、试验五由郭欢编写;试验六、试验十一、试验十二由黄艳妮编写;试验十三由张喆编写。全书由张艳负责统稿整理工作,杨谦主审。

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,敬请广大读者和专家指正。

编 者

试验注意事项

为确保试验顺利进行，达到预定的试验目的，必须做到下列要求。

一、做好试验前的准备工作

- (1) 预习试验指导书，明确本次试验的目的、方法和步骤。
- (2) 弄清与本次试验有关的基本原理。
- (3) 对试验中所用到的仪器、设备，试验前应事先阅读相关的使用说明。
- (4) 必须清楚地知道本次试验需记录的数据项目及数据处理的方法，并事前做好记录表格。
- (5) 除了解试验指导书中所规定的试验方案外，也可多设想一些其他方案。

二、遵守试验室的规章制度

- (1) 试验时应严肃认真，保持安静。
- (2) 爱护设备和仪器，并严格遵守操作规程，如发生故障应及时报告。
- (3) 非本试验所用的设备和仪器不得任意动用。
- (4) 试验完毕后，应将设备和仪器擦拭干净，并恢复到原来正常状态。

三、认真做好试验

- (1) 认真听教师对本次试验的讲解。
- (2) 清点试验所需设备、仪器及有关器材，如发现遗缺，应及时向教师提出。
- (3) 试验时，应有严谨的科学作风，认真细致地按照试验指导书中所要求的试验方法与步骤进行试验。
- (4) 对于带电或贵重的设备和仪器，在接线或布置后应请教师检查。检查合格后，才能开始试验。
- (5) 在试验过程中，应密切观察试验现象，随时进行分析。若发现异常现象，应及时报告给教师。
- (6) 记录全部测量数据，以及所用仪器的型号及精度、试件的尺寸及量具的量程等。
- (7) 教学试验是培养学生动手能力的一个重要环节，因此，学生在试验小组中虽有一定的分工，但每个学生都必须自己动手，完成所有的试验环节。
- (8) 学生在完成试验全部规定项目后，经教师同意，可进行一些与本试验有关的其他试验。
- (9) 试验记录需要教师审阅签字，若不符合要求应重做。

四、写好试验报告

试验报告是试验的总结。通过写试验报告，可以提高学生的分析能力，因此，试验报告必须由每个学生独立完成。写试验报告时，应清楚整洁，并要有分析及自己的观点。试验报告应包括下列基本内容：

- (1) 试验名称、试验日期、试验者及同组人员。
- (2) 试验目的。
- (3) 试验原理、方法及步骤简述。
- (4) 试验所用的设备和仪器的名称及型号。
- (5) 试验数据的处理。
- (6) 对试验结果的分析讨论。

目 录

试验一	试样制备	1
试验二	含水率试验	7
试验三	密度试验	10
试验四	测定黏性土的界限含水率试验	13
试验五	相对密度试验	19
试验六	颗粒分析试验	24
试验七	击实试验	30
试验八	压缩(固结)试验	34
试验九	直接剪切试验	40
试验十	三轴剪切试验	46
试验十一	承载比(CBR)试验	55
试验十二	承载板测定土基回弹量试验	63
试验十三	挖坑灌砂法测定压实度试验	66
	参考文献	71

试验一 试样制备

一、试验目的

试样制备是获得正确试验结果的前提,为保证试验结果的可靠性以及试验数据的可比性,应制订一个统一的试样制备方法和程序。

试样制备可分为原状土的试样制备和扰动土的试样制备。原状土的试样制备主要包括土样的开启、描述及切取等程序;扰动土的试样制备主要包括土样的风干、碾散、过筛、分样和储存等预备程序以及击实等制备程序。这些程序步骤的正确与否,都会直接影响到试验结果的可靠性,因此,试样制备是土工试验工作的首要质量要素。

二、仪器设备

试样制备所需的主要仪器设备包括:

- (1) 孔径 0.5 mm、2 mm 和 5 mm 的细筛。
- (2) 孔径 0.075 mm 的洗筛。
- (3) 称量 10 kg、感量 5 g 的台秤。
- (4) 称量 5 000 g、感量 1 g 和称量 200 g、感量 0.01 g 的天平。
- (5) 不锈钢环刀:内径 61.8 mm、高 20 mm;内径 79.8 mm、高 20 mm 或内径 61.8 mm、高 40 mm。
- (6) 击样器:包括活塞、导筒和环刀等。
- (7) 其他:包括切土刀、钢丝锯、碎土工具、烘箱、保湿器、喷水设备及凡士林等。

三、试样制备

(一) 原状土试样的制备步骤

- (1) 将土样筒按标明的上下方向放置,剥去蜡封和胶带,开启土样筒取土样。
- (2) 检查土样结构,若土样已受扰动或取土质量不符合规定时,则不应作为制备力学性质试验的试样。
- (3) 根据试验要求确定环刀尺寸,并在环刀内壁涂一薄层凡士林,然后将刀的刃口向下放在土样上,将环刀垂直下压,同时用切土刀沿环刀外侧切削土样,边压边削直至土样高出环刀,制样时不得扰动土样。
- (4) 采用钢丝锯或切土刀平整环刀两端土样,然后擦净环刀外壁,称量环刀和土的总质量。
- (5) 切削试样时,应对土样的层次、气味、颜色、夹杂物、裂缝和均匀性进行描述。
- (6) 从切削的余土中取代表性试样,以供测定含水率以及颗粒分析、界限含水率等试验之用。

(7) 原状土同一组试样间密度的允许差值不得大于 0.03 g/cm^3 , 含水率差值不宜大于 2%。

(二) 扰动土试样的制备步骤

1. 扰动土试样的备样步骤

(1) 将土样从土样筒或包装袋中取出, 对土样的颜色、气味、夹杂物和土类及均匀程度进行描述, 并将土样切成碎块, 拌和均匀, 取代表性土样测定含水率。

(2) 先将土样风干或烘干, 然后将风干或烘干的土样放在橡皮板上用木碾碾散。对不含砂和砾的土样, 可用碎土器碾散, 但在使用碎土器时应注意不得将土粒破碎。

(3) 将分散后的土样根据试验要求过筛。采用物理方法试验的土样, 如液限、塑限等试验, 将其过 0.5 mm 筛; 对于力学性试验的土样, 将其过 2 mm 筛; 对于击实试验的土样, 将其过 5 mm 筛。对于含细粒土的砾质土, 应先用水浸泡并充分搅拌, 使粗细颗粒分离后, 再按不同试验项目的要求进行过筛。

2. 扰动土试样的制样步骤

(1) 试样制备的数量视试验需要而定, 一般应多制备 1~2 个试样备用。

(2) 将碾散的风干土样通过孔径为 2 mm 或 5 mm 的筛, 取筛下足够试验用的土样, 充分拌匀, 并测定风干含水率, 然后装入保湿缸或塑料袋内备用。

(3) 根据环刀容积及所要求的干密度, 按式 (1-1) 计算试样制备所需的风干土质量:

$$m_0 = (1 + 0.01W_0) \rho_d V \quad (1-1)$$

式中 m_0 ——制备试样所需的风干含水率时的土样质量 (g);

W_0 ——风干含水率 (%);

ρ_d ——试样所要求的干密度 (g/cm^3);

V ——试样体积 (环刀容积) (cm^3)。

(4) 根据试样所要求的含水率, 按式 (1-2) 计算制备试样所需的加水量:

$$m_w = \frac{m_0}{1 + 0.01W_0} \times 0.01 (W_1 - W_0) \quad (1-2)$$

式中 m_w ——制备试样所需要的加水量 (g);

W_1 ——试样所要求的含水率 (%).

(5) 称取过筛的风干土样平铺于搪瓷盘内, 根据式 (1-2) 计算得到的加水量, 用量筒量取, 并将水均匀喷洒于土样上, 充分拌匀后装入盛土容器内盖紧, 润湿一昼夜。

(6) 测定润湿土样在不同位置处的含水率, 不应少于两点。一组试样的含水率与要求的含水率之差不得大于 $\pm 1\%$ 。

(7) 扰动土试样的制备, 可采用击样法、压样法和击实法。

① 击样法。将根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土, 倒入装有环刀的击样器内, 击实到所需密度, 然后取出环刀。

② 压样法。将根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土, 倒入装有环刀的压样器内, 采用静压力通过活塞将土样压紧到所需密度, 然后取出环刀。

③ 击实法。采用击实仪, 将土样击实到所需的密度, 用推土器推出, 然后将环刀内壁涂一薄层凡士林, 刃口向下放在土样上, 将环刀垂直向下压, 边压边削, 直至土样伸出环刀为

止，削去两端余土并修平。

(8) 擦净环刀外壁，称量环刀和试样总质量，精确至 0.1 g。同一组试样的密度与要求的密度之差不得大于 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

(9) 对不需要饱和且立即进行试验的试样，应存放在保湿器内备用。

四、试样饱和

土的孔隙逐渐被水填充的过程称为饱和。当土中孔隙全部被水充满时，该土则称为饱和土。

根据土样的透水性能，试样的饱和可分别采用浸水饱和法、毛细管饱和法和真空抽气饱和法。

(1) 对于粗粒土，可采用直接在仪器内对试样进行浸水饱和的方法。

(2) 对于渗透系数大于 10^{-4} cm/s 的细粒土，可采用毛细管饱和法。

(3) 对于渗透系数小于或等于 10^{-4} cm/s 的细粒土，可采用真空抽气饱和法。

(一) 试样饱和步骤

(1) 毛细管饱和法。

① 选用框式饱和器 [图 1.1 (a)]，在装有试样的环刀上、下面分别放滤纸和透水石，装入饱和器内，并通过框架两端的螺丝将透水石、环刀夹紧。

② 将装好试样的饱和器放入水箱内，注入清水，水面不宜将试样淹没，使土中气体得以排出。

③ 关上箱盖，浸水时间不得少于两昼夜，以使试样充分饱和。

④ 试样饱和后，取出饱和器，松开螺母，取出环刀擦干外壁，取下试样上下的滤纸，称量环刀和试样的总质量，精确至 0.1 g，并计算试样的饱和度。当饱和度低于 95% 时，应继续饱和。

(2) 真空抽气饱和法。

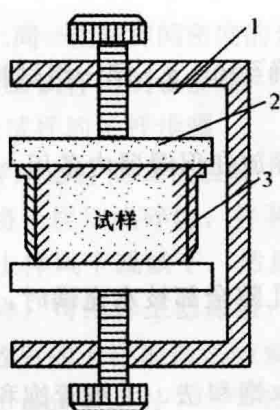
① 选用重叠式或框式饱和器 (图 1.1) 和真空饱和装置 (图 1.2)。在重叠式饱和器下夹板的正中，依次放置透水石、滤纸、带试样的环刀、滤纸和透水石，按此顺序重复放置，由下而上重叠到拉杆高度，将饱和器上夹板盖好后，拧紧拉杆上端的螺母，将各个环刀在上、下夹板间夹紧。

② 将装有试样的饱和器放入真空缸内，真空缸和盖板之间涂一薄层凡士林，并盖紧。

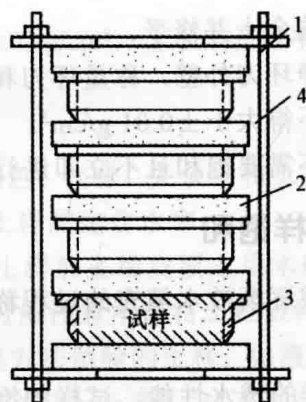
③ 将真空缸与抽气机接通，启动抽气机，当真空压力表读数接近当地一个大气压力值后，继续抽气不少于 1 h，然后微开管夹，使清水由引水管徐徐注入真空缸内。在注水过程中，微调管夹，以使真空压力表读数基本保持不变。

④ 待水淹没饱和器后，立即停止抽气，松开管夹使空气进入真空缸，静止一段时间。对于细粒土，为 10 h 左右，借助大气压力，从而使试样充分饱和。

⑤ 打开真空缸，从饱和器内取出带环刀的试样，称量环刀和试样的总质量，并计算试样的饱和度，当饱和度低于 95% 时，应继续抽气饱和。



(a)



(b)

图 1.1 饱和器

(a) 框式; (b) 叠式

1—夹板; 2—透水板; 3—环刀; 4—拉杆

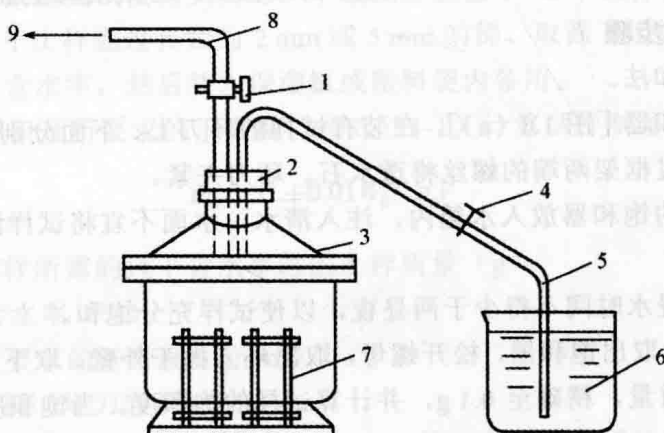


图 1.2 真空饱和装置

1—二通阀; 2—橡皮塞; 3—真空缸; 4—管夹; 5—引水管;

6—盛水器; 7—饱和器; 8—排气管; 9—接抽气机

(二) 饱和度计算

试样的饱和度可按式 (1-3) 计算:

$$S_r = \frac{(\rho - \rho_d) G_s}{\rho_d \cdot e} \quad \text{或} \quad S_r = \frac{W G_s}{e} \quad (1-3)$$

式中 S_r ——试样的饱和度 (%);

W ——试样饱和后的含水率 (%);

ρ ——试样饱和后的密度 (g/cm^3);

ρ_d ——试样的干密度 (g/cm^3);

G_s ——土粒比重;

e ——试样的孔隙比。

五、试验记录

(1) 试验任务及常见问题见表 1.1。

表 1.1 试验任务及常见问题

项目名称/ 任务名称	试样制备	时间	
		地点	
目的 要求	掌握配备试验所需土样		
序号	任务及问题	解答	
1	试样制备所需的主要仪器包括哪些设备？		
2	原状土试样的制备步骤是什么？在制备过程中有哪些注意事项？		
3	扰动土试样的制备步骤是什么？在制备过程中有哪些注意事项？		
4	扰动土试样的制备方法有哪些？具体说明哪种方法适合哪种类型的土进行制样过程。		
5	试样饱和的含义是什么？什么样的土被称为饱和土？制备饱和土有什么要求？饱和土的分类有哪些？		
6	试样饱和的方法有哪些？对于不同类型的土适合于哪种饱和方法？具体说明其原因。		
7	饱和度的定义是什么？饱和度的计算公式是什么？计算公式中各字母的含义分别是什么？如何判断土的饱和程度？		
8	真空抽气饱和法制样的步骤是什么？在制样过程中有哪些要求？		
9	毛细管饱和法制样的步骤是什么？在制样过程中有哪些要求？		

试验二 含水率试验

一、定义

土的含水率 w 是指土在温度为 $105\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒量时,所失去的水质量与达到恒量后干土质量的比值,用百分数表示。

含水率是土的基本物理性质的指标之一,它反映了土的干、湿状态。含水率的变化将使土的物理力学性质发生一系列变化,它可使土变成半固态、可塑状态或流动状态,也可使土变成稍湿状态、很湿状态或饱和状态,还可造成土在压缩性和稳定性上的差异。含水率还是计算土的干密度、孔隙比、饱和度和液性指数等不可缺少的依据,也是建筑物地基、路堤和土坝等施工质量控制的重要指标。

二、试验目的

含水率的试验目的是测定土的含水率,用以计算土的其他指标。

三、烘干法测定土的含水率

1. 仪器设备

(1) 电热烘箱:应能控制温度在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 天平:称量 200 g ,感量 0.01 g 。

(3) 称量盒等。

2. 试验步骤

(1) 取具有代表性的土样 $15\sim 30\text{ g}$,放入称量盒内,盖上盒盖,称出盒加湿土的质量,精确至 0.01 g 。

(2) 打开盒盖,将盒置于烘干箱内,在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的恒温下烘干至恒量。烘干时长对黏土、粉土不得少于 8 h ,对砂土不得少于 6 h ,对含有机质超过干土质量 5% 的土,应将温度控制在 $65\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的恒温下烘干至恒量。

(3) 将称量盒从烘箱中取出,盖上盒盖,放入干燥容器内冷却至室温,称出盒加干土的质量,精确至 0.01 g 。

四、计算

试样的含水率按下式计算:

$$w_0 = \left(\frac{m}{m_d} - 1 \right) \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 m ——湿土质量 (g);

m_d ——干土质量 (g)。

五、结果评定

本试验必须对两个试样进行平行测定,测定的差值:当含水率小于40%时,差值为1%;当含水率大于或等于40%时,差值为2%。取两个差值的平均值,用百分数表示。

注意事项:

- (1) 打开试样后应立即称量湿土的质量,以免水分蒸发。
- (2) 土样必须按要求烘干至恒量,否则会影响测试精度。
- (3) 烘干的试样应冷却后再称量,以防止热土吸收空气中的水分,避免天平受热不均影响称量精度。

六、试验记录

(1) 试验任务及常见问题见表2.1。

表2.1 试验任务及常见问题

项目名称/ 任务名称	含水率试验	时间	
		地点	
目的 要求	1.测定土的含水率,用以计算土的其他指标; 2.掌握土的含水率的测定,配制不同含水率的土。		
序号	任务及问题	解答	
1	土的含水率的定义是什么?土的含水率计算公式是什么?公式中各字母所表示的含义分别是什么?		
2	画出土的三相草图,并用字母表示每一部分的含义。		
3	如何配制不同含水率的土样?如何用20%含水率的土样配制30%含水率的土样?		
4	土的含水率的试验方法有哪些?不同试验方法的试验原理是什么?烘干法采用的试验仪器有哪些?		
5	土的三个最基本的物理指标是什么?为什么这三个物理指标被称为最基本的物理指标?		
6	土的含水率的测定步骤是什么?在操作过程中有哪些注意事项?		
7	如何对土的含水率结果进行评定?结合试验操作过程分析试验结果出现误差的原因。		
8	在土的含水率测定过程中,利用烘干法测定土的含水率,试验仪器有哪些?试验仪器的选择有什么要求?		
9	利用烘干法烘干土样时,对无黏性土和黏性土分别有什么要求?		

试验三 密度试验

一、定义

土的密度是指土的单位体积质量，是土的基本物理性质指标之一，其单位为 g/cm^3 。土的密度反映了土体结构的松紧程度，是计算土的自重应力、干密度、孔隙比和孔隙度等指标的重要依据，也是挡土墙压力计算、土坡稳定性验算、地基承载力和沉降量估算以及路基路面施工填土压实度控制的重要指标之一。

当用国际单位制计算土的重力时，由土的质量产生的单位体积的重力称为重力密度 γ ，简称重度，其单位为 kN/m^3 。重度由密度乘以重力加速度求得，即 $\gamma = \rho g$ 。

土的密度一般是指土的湿密度 ρ ，相应的重度称为湿重度 γ ，除此以外还有土的干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 和有效密度 ρ' ，相应的有干重度 γ_d 、饱和重度 γ_{sat} 和有效重度 γ' 。

二、试验目的

测定土的密度，以供计算孔隙比、干密度等其他指标用。

三、试验方法及原理

密度试验方法有环刀法、蜡封法、灌水法和灌砂法等。对于细粒土，宜采用环刀法；对于易碎裂、难以切削的土，可用蜡封法；对于现场粗粒土，可用灌水法或灌砂法。

试验三主要介绍用环刀法测定土密度的试验方法及原理。

环刀法就是采用一定体积的环刀切取土样并称量土的质量的方法，环刀内土的质量与环刀体积之比即为土的密度。

环刀法操作简便且准确，在室内和野外均普遍采用，但环刀法只适用于测定不含砾石颗粒的细粒土的密度。

1. 仪器设备

- (1) 环刀：内径为 61.8 mm 或 79.8 mm，高度为 20 mm。
- (2) 天平：称量 500 g，感量 0.1 g；称量 200 g，感量 0.01 g。
- (3) 其他：削土刀、钢丝锯、玻璃板、凡士林等。

2. 试验步骤

(1) 取原状土或按工程需要配制的重塑土，整平两端，将环刀内壁涂一薄层凡士林，刃口向下放在土样上，切削成略大于环刀直径的土柱，边压环刀边削土柱至伸出环刀为止。

(2) 用钢丝锯将环刀与土柱分离，削去端部余土，擦净环刀外壁，称量环刀与土的总质量，精确至 0.1 g。

(3) 称量环刀的质量，精确至 0.1 g。